

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. März 2002 (21.03.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/23120 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: G01B 11/00
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10416
(22) Internationales Anmeldedatum: 10. September 2001 (10.09.2001)
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 100 45 535.2 13. September 2000 (13.09.2000) DE
(71) Anmelder und
(72) Erfinder: BONNET, Gerhard [DE/DE]; Cottbuser Weg 16, 68309 Mannheim (DE).
(74) Anwalt: PIETRUK, Claus Peter; Heinrich-Lilienfehn-Weg 5, 76229 Karlsruhe (DE).

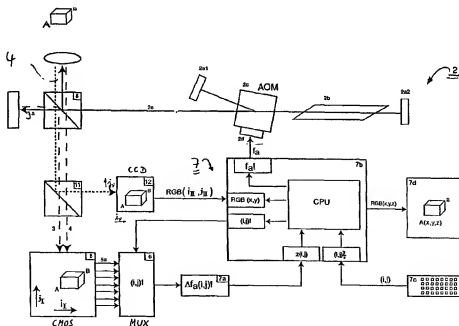
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GI, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IL, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL DEVICE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE VORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting objects. To this end, temporally variable reference light beams and object light beams are generated. The beams are superimposed at a light receiver and detected beam-by-beam, and the penetration of the object by selected beams is determined in response to the temporal variability of the superimposed beams.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/23120 A2

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Objekterfassung. Hierbei ist vorgesehen, dass zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahlbündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger überlagert und strahlenweise detektiert werden und die Objektiefe zur ausgewählten zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen bestimmt wird.

OPTISCHE VORRICHTUNG

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung nach den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche. Damit befaßt sich die vorliegende Erfindung mit der Erfassung von dreidimensionalen Objekten, insbesondere der Bestimmung der räumlichen Tiefe eines ausgedehnten dreidimensionalen Objektes.

Es ist häufig wünschenswert, ein gegebenes Objekt dreidimensional abzutasten. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein kompliziertes Werkstück darauf untersucht werden soll, ob es maßgenau hergestellt wurde oder wenn ein gegebenes Objekt exakt zu vermessen ist.

Es ist im Regelfall zunächst ohne weiteres möglich, eine zweidimensionale Abbildung eines dreidimensionalen Objektes durch Projektion eines Objektbildes auf eine Sensorfläche oder dergleichen zu erzielen. Die Ausmessung in einer dritten Dimension, nämlich die Messung einer räumlichen Tiefe bereitet hingegen im Regelfall größere Probleme. Vorgeschlagen wurde beispielsweise, wie bei einem Echolot kurze Lichtimpulse auszusenden und die Zeit bis zum Empfang der rückgestreuten oder reflektierten Impulse zu messen. Eine Messung mit Licht ist hier auf Grund der extrem geringen Laufzeiten jedoch sehr schwierig, zudem lässt sich von räumlich ausgedehnten Objekten nur mit hohem Aufwand Raumtiefeinformation gewinnen.

Es sind auch schon seit langem interferometrische Verfahren bekannt, bei welchen ein Lichtstrahl in einen Referenzlichtstrahl und einen Objektlichtstrahl aufgespalten wird. Der Objektlichtstrahl wird auf ein Objekt eingestrahlt und von diesem rückempfungen. An einem Lichtempfänger werden dann die Referenz- und Objektlichtstrahlen überlagert und es wird dann, hinreichende Kohärenz beider Strahlen vorausgesetzt, aus der Phasenlage geschlossen, wie weit das Objekt entfernt ist. Dieses Vorgehen erlaubt je nach Anordnung hochpräzise Messungen; allerdings bereitet die Tiefenmessung bei ausgedehnten Objekten an verschiedenen Stellen Schwierigkeiten.

Es ist weiter bekannt, Entfernungsmessungen mit Frequenzhub-Rückkopplungslasern beziehungsweise frequenzverschobene Rückkopplungslaser (Frequency-Shifted-Feedback-Laser, FSF-Laser) vorzunehmen. Ein Beispiel hierfür findet sich in dem Aufsatz von K. NAKAMURA, T. MIYAHARA, M. YOSHIDA, T. HARA und H. ITO „A new technique of optical ranging by a frequency-shifted feedback laser“, IEEE Photonics Technology Letters, Band 10, 1998, Seiten 1772 ff. Das Prinzip von FSF-Lasern und die von diesen erhaltene Emission ist detailliert beschrieben in dem Aufsatz „Observation of a highly phase-correlated chirped frequency comb output from a frequency-shifted feedback laser“ von K. NAKAMURA, T. MIYAHARA und H. ITO, Applied Physics Letters, Band 72, Nr. 21, Seiten 2631 ff. sowie in dem Aufsatz „Spectral Characteristics of an All Solid-State Frequency-Shifted Feedback Laser“ von K. NAKAMURA, F. ABE, K. KASAHARA, T. HARA, M. SATO und H. ITO in IEEE-JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Band 33, Seiten 103 ff.

Die Autoren der zu Offenbarungszwecken hierin vollumfänglich einbezogenen vorgenannten Dokumente schlagen vor, einen FSF-Laser zu verwenden, der in seinem optischen Resonator einen

akustooptischen Modulator aufweist, welcher mit etwa 80 MHz betrieben wird. Der Strahl des FSF-Lasers wird an einem Strahlteiler in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl aufgespalten. Der Meßstrahl durchläuft eine als Objekt dienende Glasfaser mit dem Referenzstrahl und wird an einem weiteren Strahlteiler wieder zusammengeführt und auf ein einzelnes Detektorelement eingestrahlt, dessen Ausgang mit einem Hochfrequenz-Spektral-Analysator untersucht wird.

- 10 Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ausgedehnte Objekte zu erfassen und hinsichtlich ihrer räumlichen Tiefe ausmessbar zu machen.

Die unabhängigen Ansprüche geben an, wie dieses Ziel erreicht werden kann. Bevorzugte Ausführungsformen finden sich in den Unteransprüchen.

Ein grundlegender Gedanke der Erfindung besteht somit darin, dass zur Objekterfassung zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahlbündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger überlagert und strahlenweise detektiert werden und die Objekttiefe zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen bestimmt wird.

25 Wesentlich ist hierbei zunächst, dass ausgedehnte Lichtbündel erzeugt und an einem Lichtempfänger überlagert werden, aber Einzelstrahlen innerhalb der Bündel detektiert werden, um die Objekttiefe an diesen ausgewählten Strahlen zu bestimmen. Damit wird es ohne weiteres möglich, bei ausgedehnten Objekten durch die Auswahl unter Verwendung zeitlich variabler Referenz- und Objektlichtstrahlen orts aufgelöste Messungen vorzunehmen.

In einer bevorzugten Variante besitzen die Lichtbündel eine kammartige Frequenzstruktur, wobei der Kamm durchgestimmt wird, das heißt alle Frequenzen des Lichtbündels simultan
5 verändert werden. Dies läßt sich insbesondere mit FSF-Lasern erreichen.

In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens werden sukzessiv unterschiedliche Modulator- bzw. Durchstimmfrequen-
10 zen verwendet. Die typische, sich periodisch wiederholende zeitliche Variabilität von Referenz- und Objektlichtstrahlbündeln führt dazu, dass die Zuordnung zwischen Objektiefe und zeitlicher Variabilität nicht eindeutig ist. Die Verwendung mehrerer Modulatorfrequenzen ermöglicht es dann, diese
15 Nichteindeutigkeit bei einer einzelnen Frequenz aufzulösen.

Das Erzeugen der Referenz- und Objektlichtbündel kann in einem Laserresonator erfolgen, in welchem ein verstärkendes Medium angeordnet wird. Die Durchstimmung erfolgt dabei bevorzugt mit einem hochfrequent erregten akustooptischen Modulator.
20

In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens werden die Lichtbündel strahlenweise analysiert, indem ein lichtempfindlicher Empfänger aus einer Vielzahl von Detektionselementen vorgesehen wird, wobei die zu untersuchenden Strahlen durch Anwahl bzw. Auswahl einzelner Strahlelemente bestimmt werden.
25

Das Verfahren sieht in einer besonders bevorzugten Variante vor, dass die Detektionselementeauswahl veränderbar ist. Eine Veränderung kann dabei insbesondere dadurch erfolgen, dass ein Bild des Objektes erzeugt wird, und zwar mit einem ande-
30

ren oder dem gleichen Lichtempfänger, wobei dann auf diesem Bild Punkte mit zu bestimmender Tiefe ausgewählt werden. Die diesen Stellen zugeordneten Detektionselemente können dafür bezüglich der zeitlichen Variabilität der überlagerten Strahlen, die auf sie treffen, untersucht werden.

Schutz wird auch begehrt für eine Vorrichtung, die zur Ausübung des Verfahrens geeignet ist. In einer besonders bevorzugten Variante der Vorrichtung ist als Bündelerzeugungsmittel ein FSF-Laser, das heißt ein Frequenzhub-Rückkopplungs-Laser vorgesehen, der in seinem Resonator neben einer Lichtverstärkereinheit, das heißt einem Lichtverstärkermedium, auch einen Modulator umfasst. Der Modulator wird bevorzugt mit Frequenzen zwischen 0,1 MHz und 500 MHz moduliert, wobei eine Modulation mit Radiofrequenzen um 100 MHz besonders vorteilhaft ist. Die niedrigeren Frequenzen verringern die mit der Vorrichtung erzielbare Auflösung, während sehr hohe Frequenzen die Anforderungen an das Meßsystem stark erhöhen.

Die Untersuchung der zeitlichen Variabilität der überlagerten Referenz- und Objektlichtbündel wird in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel vorgenommen, indem Signale von jenen Detektionselementen, die auszulesen sind, über einen Multiplexer an eine Auswerteeinheit geleitet werden.

Es kann in einer bevorzugten Variante ein bildgebender Sensor vorgesehen werden, wobei einerseits ein Bild des Objektes aufgenommen wird und andererseits die Tiefe bestimmter Bildpunkte erfasst wird. Es ist möglich, die Detektionselemente zur Objektiefenbestimmung von jenen Elementen eines bildgebenden Detektors zu trennen, um so eine Optimierung der jeweiligen Lichtempfänger einerseits für hohe räumliche Auflösung und andererseits für hohe Empfindlichkeit auf die zeit-

liche Variabilität zu ermöglichen. Überdies ist es bevorzugt, wenn der bildgebende Sensor und der objektiefenmessende Lichtempfänger unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten aufweisen und zwar insbesondere dergestalt, dass der bildgebende Sensor für die Wellenlängen beziehungsweise den Frequenzbereich des Lichtempfängers nicht oder nur marginal empfindlich ist. So ist die Bildaufnahme nicht oder fast nicht gestört durch die Objektiefenbestimmung.

10 Die Erfindung wird im folgenden nur beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben. In dieser zeigt:

Fig. 1 eine Anordnung gemäß der vorliegenden Erfindung;

15 Fig. 2 Diagramme zur Veranschaulichung des Funktionsprinzips; nämlich

Fig. 2a Frequenzen des von einem Laserresonator emittierten Frequenzkammes zu drei verschiedenen Zeiten;

20 Fig. 2b das Emissionsverhalten über der Zeit;

Fig. 2c der Zusammenhang zwischen Schwebungsfrequenz und Laufzeitunterschied.

25 Fig. 2d der Zusammenhang zwischen Schwebungsfrequenz und Objektiefe für eine gegebene Durchstimmfrequenz.

Nach Fig. 1 umfasst eine allgemein mit 1 bezeichnete Objektiefenbestimmungsvorrichtung 1 ein Lichtbündelerzeugungsmit-
30 tel 2 zur Erzeugung eines zeitlich variierenden Referenzlichtbündels 3 und eines Objektlichtbündels 4, einen Lichtempfänger 5, auf welchem Objekt- und Referenzlichtbündel 3, 4

überlagert werden, eine Auswahleinheit 6 zur Auswahl einzelner, auszuwertender Strahlen in den auf dem Lichtempfänger 5 überlagerten Lichtbündeln 3, 4, sowie eine Auswerteeinheit 7 zur Auswertung einer Objektiefe.

5

Das Lichtbündelerzeugungsmittel 2 umfaßt einen durch hochreflektierende Spiegel 2a1, 2a2 gebildeten optischen Resonator, in welchem ein Verstärkungsmedium 2b und ein akustooptischer Modulator 2c angeordnet sind. Der akustooptische Modulator 2c erhält Hochfrequenzenergie von einem Frequenzgenerator 2d in einem Bereich zwischen 0,1 MHz und 500 MHz, was zu einer zeitlichen Variabilität des ausgestrahlten Lichtes führt, wie später zu erläutern sein wird.

10

15 Im Ausgangslichtbündel 2e des Lichtbündelerzeugungsmittels 2 ist ein Strahlteiler 8 vorgesehen, der das Ausgangslichtbündel 2e in ein auf ein Objekt 10 gerichtetes Teilbündel und ein Referenzlichtbündel 3 aufteilt. Im Strahlengang des Referenzlichtbündels 3 ist ein Rückreflektor in festem Referenzabstand angeordnet, der das Referenzlichtbündel 3 über den Strahlteiler 8 auf den Lichtempfänger 5 zurückwirft, während das zum Objekt 10 gerichtete Teilbündel von diesem zurückgeworfen wird und als Objektlichtbündel 4 den Strahlteiler 8 durchlaufend gleichfalls zum Lichtempfänger 5 gestrahlt wird, und zwar so, dass dort Objektlichtbündel 4 und Referenzlichtbündel 3 überlagert werden.

20

25

Der Lichtempfänger 5 ist als CMOS-Elementefeld aus einer Matrix von $M \times N$ CMOS-Elementen (i, j) aufgebaut, die einzeln über ihre Indices j_1, i_1 adressierbar sind. Von jedem Element (i, j) des CMOS-Feldes des Lichtempfängers 5 geht eine Leitung 5a zur Auswahleinheit 6, die als Multiplexer ausgebildet ist und Signale jeweils nur eines oder einer geringen Anzahl von

30

Detektionselementen auf eine Demodulationseinheit 7a schaltet. Die Demodulationseinheit ist dazu ausgebildet, die durch akustooptische Modulation mittels des akustooptischen Modulators 2c bedingte zeitliche Variabilität des Ausgangslichtbündels 2e in der Überlagerung von Referenzlichtbündel 3 und Objektlichtbündel 4 für die Einzelelemente zu analysieren und eine für die Schwebung derselben repräsentative Größe anzugeben.

Der Ausgang der Demodulationseinheit 7a wird an einen Eingang einer zentralen Datenverarbeitungseinheit 7b gespeist, die auch Eingabemittel 7c und Ausgabemittel 7d aufweist, und mit welcher insbesondere die am den akustooptischen Modulator 2c treibenden Frequenzgenerator 2d vorzuwählende Frequenz f_a bestimmt werden kann sowie jene Matrixelemente i, j des CMOS Array des Lichtempfängers 5, deren Signal an die Demodulationseinheit 7a gespeist wird.

Im Strahlengang zwischen dem Strahlteiler 8 und dem Lichtempfänger 5 ist weiter ein teildurchlässiger Spiegel 11 vorgesehen, mit welchem Licht vom Objekt 10 auf einen hier beispielhaft als CCD-Matrix ausgebildeten bildgebenden Empfänger 12 reflektiert werden kann. Das Ausgangssignal aller Elemente (i_{II}, j_{II}) des bildgebenden Empfängers 12 wird gleichfalls an die zentrale Datenverarbeitungseinheit gespeist. Dort ist eine Zuordnungseinheit vorgesehen, die jene CMOS-Elemente (i, j) den CCD-Elementen zuordnet, welche dergleichen Objektbereich erfassen.

Zur Erläuterung der Funktionsweise der Anordnung wird zunächst Bezug genommen auf die Figuren 2a bis 2d, die das Emissionsverhalten des Lichtbündelerzeugungsmittels sowie die sich aus der zeitlichen Variabilität der Lichtbündel und de-

ren Überlagerung ergebenden Signale und deren Auswertung veranschaulichen.

Fig. 2a zeigt oben zunächst als geschwungene Kurve das Verstärkungsprofil des Verstärkungsmediums 2b. Eine Lichtverstärkung von in das Verstärkungsmedium einlaufenden Lichtwellen findet nur für jene Frequenzen statt, bei denen die Verstärkung größer als 1 ist, das heißt zwischen den Frequenzen ν_A und ν_B . Bei allen anderen Frequenzen wird das Licht wie üblich abgeschwächt. Der optische Resonator hat nun, ähnlich wie eine schwingende Saite bevorzugte Frequenzen, sogenannte Resonatormoden. Jene Resonatormoden, bei denen die Verstärkung des verstärkten Mediums größer als 1 ist, werden bevorzugt emittiert.

Wird nun der akustooptische Modulator erregt, entsteht durch die Materialschwingung ein Gitter unterschiedlich dichter Stellen; an diesem Gitter wird hindurch tretendes Licht gebeugt, wobei die Wechselwirkung der Lichtphotonen mit den Schwingungsmoden des akustooptischen Modulators charakterisierenden Phononen die Frequenz des an dem Dichtegitter gebeugten Lichtes um die Erregungsfrequenz des akustooptischen Modulators verschoben wird. Dies führt dazu, dass die Lasermoden sich mit der Zeit geringfügig verschieben. Dies ist vom 1. zum 2. und vom 2. zum 3. Bild für unterschiedliche Zeiten nur für eine einzelne Lasermode angedeutet, wo zu erkennen ist, dass sich die Frequenz einer Mode mit der Zeit ändert; dies gilt aber für alle Moden, die im Resonator anschwingen. Es versteht sich dabei, dass, je nachdem, wie weit oberhalb der Verstärkung 1 das Verstärkungsprofil verläuft, die Intensitäten der einzelnen anschwingenden Moden unterschiedlich sind und dass sich die Modenintensität mit der Frequenz ändert.

Fig. 2b zeigt den Verlauf der unterschiedlichen Moden des sich ergebenden Frequenzkammes mit der Zeit. Es ist zu erkennen, dass die Frequenzen sich mit der Zeit für alle Moden in gleicher Weise ändern, also dieselbe Steigung bei Auftrag gegen die Zeit besitzen.

Das Schaubild von Fig. 2b bedeutet nun, dass Licht, das zu unterschiedlichen Zeiten emittiert wird, unterschiedliche Frequenzen besitzen wird. Laufen nun an einem Ort Lichtstrahlen ein, die über unterschiedlich lange optische Wege eingestrahlt werden, also auch zu unterschiedlichen Zeiten aus dem Lichtbündelerzeugungsmittel 2 emittiert wurden, so muss eine Frequenzdifferenz zwischen beiden vorliegen. Diese Frequenzdifferenz ist in Fig. 2c für unterschiedliche Laufzeitdifferenzen und unterschiedliche Moden im Resonator dargestellt. Sie kann als Schwebungsfrequenz auf einem CMOS-Element detektiert werden.

Die Frequenzverschiebung zwischen Objekt- und Referenzlichtbündel ist dabei zunächst nur von der Laufzeitdifferenz abhängig, sofern eine entsprechende Linearität des akustooptischen Modulators vorausgesetzt wird und die akustooptische Modulationsfrequenz fix ist. Es ergibt sich für alle Moden die gleiche Abhängigkeit. (Die von einzelnen Moden stammenden Schwebungsanteile addieren sich demnach.)

Die Frequenzverschiebung ist weiter abhängig davon, mit welcher Frequenz der akustooptische Modulator angeregt wird. Wird die Anregungsfrequenz des akustooptischen Modulators verändert, so ändert sich die Steigung der Kurve und der Abstand der einzelnen „Zähne“, das heißt jener Stufen, bei de-

nen eine gegebene optische Weglängendifferenz wieder zu einer Frequenzverschiebung Null führt.

Vor diesem Hintergrund wird die Anordnung von Fig. 1 benutzt
5 wie folgt:

Zunächst wird ein Objekt 10 so im Sichtfeld des abgeteilten Teils des Ausgangslichtbündels 2e angeordnet, dass es beleuchtet wird. Dann wird ein optisches Projektionsbild des
10 Objektes mit dem Bildempfänger 12 aufgenommen und es werden bestimmte Stellen, deren Tiefen zu bestimmen sind, ausgesucht, vorliegend beispielsweise die Stellen A und B. Die Auswahl dieser Stellen kann nach Betrachtung des optischen Projektionsbildes unter Verwendung des Eingabemittels 7c erfolgen. Die den Stellen A und B zugeordneten Elemente (i_1 ,
15 j_1) auf dem Lichtempfänger 5 werden an der Auswahleinheit 6 zur Signalauswertung ausgewählt. Dies hat zur Folge, dass das von den ausgewählten CMOS-Elementen (i_1 , j_1) ein Signal an die Demodulationseinheit 7a gegeben wird. Beim Element i_1 , j_1
20 ist ein einzelner Strahl des Objektlichtbündels 4 mit einem einzelnen Strahl des Referenzlichtbündels 3 überlagert; hierbei bedeutet Strahl „einen kleinen Bereich eines ausgedehnten Bündels“.

25 In der Demodulationseinheit 7a wird dann die Schwebungsfrequenz $\Delta\nu$ für das Array-Element i_1 , j_1 bestimmt und ein entsprechendes Signal an die zentrale Datenverarbeitungseinheit eingespeist. Die zentrale Datenverarbeitungseinheit 7b verändert nun sukzessive stufenweise in tellerfremden Schritten
30 die Anregungsfrequenz f_a des akustooptischen Modulators und bestimmt jeweils die sich ergebenden Schwebungsfrequenzen am Array-Element i , j . Aus den dabei insgesamt gewonnenen Signalen wird dann bestimmt, welches Vielfache einer Frequenzver-

schiebung tatsächlich vorliegt und es wird die entsprechende Weglängendifferenz der Referenz- und Objektlichtstrahlen für dieses Array-Element i_1, j_1 bestimmt.

- 5 Aus der Weglängendifferenz und der Position kann dann mit geometrischen Verfahren auf die tatsächliche Koordinate (x, y, z) des Objektes 10 rückgeschlossen werden. Durch Auswahl geeigneter Punkte A, B, ... kann das Objekt an charakteristischen wichtigen Stellen vermessen werden. Die Messung kann
10 sehr schnell erfolgen, so dass leicht weiter über 30, zum Beispiel derzeit bis etwa 2.000 Punkte ohne größeren Schaltungsaufwand in Echtzeit erstellt werden können.

- Bei entsprechend hoher Modulationsfrequenz des akustooptischen Modulators lassen sich problemfrei Genauigkeiten im Mi-
15 krometer-Bereich oder Submikrometer-Bereich erzielen, was mit den hohen Zeitauflösungen Messungen an schnell bewegten Wellen, Werkzeugteilen, Lautsprechermembranen usw. ermöglicht. Die gleichzeitige Aufnahme eines optischen Bildes gibt dabei
20 für einen Benutzer besonders leicht auswertbare Informationen.

- Es sei erwähnt, daß als Resonatoren für den FSF-Laser sowohl Ringresonatoren als auch lineare Resonatoren verwendbar sind.
25 Weiter sei erwähnt, dass anstelle von CMOS-Elementfeldern für die Detektion oder die Übertragung von ausgewählten Strahlen andere, hinreichend schnelle Lichtempfänger und/oder Detektorfelder gleichfalls wie im jeweiligen Stand der Technik verfügbar einsetzbar sind.

30

Patentansprüche

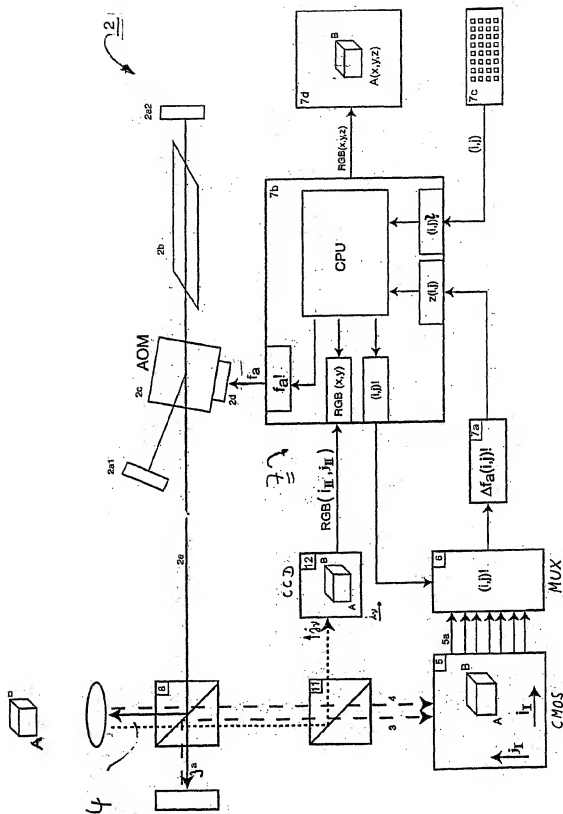
1. Verfahren zur Objekterfassung, dadurch gekennzeichnet,
5 dass zeitlich variable Referenz- und Objektlichtstrahl-
bündel erzeugt werden, die Bündel an einem Lichtempfänger
überlagert und strahlenweise detektiert werden und die
Objekttiefe zu ausgewählten Strahlen im Ansprechen auf
10 die zeitliche Variabilität der überlagerten Strahlen be-
stimmt wird.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-
kennzeichnet, dass die Lichtbündel mit einer kammartigen
Frequenzstruktur erzeugt werden.
- 15 3. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch ge-
kennzeichnet, dass der Frequenzkamm durchgestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
20 durch gekennzeichnet, dass die zeitliche Variabilität der
Referenz- und Objektlichtstrahlen durch Anordnen eines
Lichtverstärkers in einem Resonator mit zeitlich varia-
bler optischer Länge erfolgt.
- 25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch ge-
kennzeichnet, dass sukzessive mehrere Durchstimmfrequen-
zen verwendet werden..
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
30 durch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung einer zeitlichen
Variabilität ein akustooptischer Modulator verwendet
wird, insbesondere ein in einen Resonator eingebauter,
mit Hochfrequenz erregter akustooptischer Modulator.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Detektionselementen in den überlagerten Bündeln vorgesehen werden,
5 und die Objekttiefe nur für eine Auswahl von Detektionselementen bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswahl der Detektionselemente anhand eines optischen Projektionsbildes des Objektes vorgenommen wird.
10
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektlichtbündel auch mit
15 einem bildgebenden Detektor erfasst wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein vom Lichtempfänger verschiedener bildgebender Detektor verwendet wird.
20
11. Vorrichtung mit einem Mittel zur Erzeugung zeitlich variabler Referenz- und Objektlichtbündel, einem Empfänger mit einer Vielzahl von Detektionselementen zum strahlenweisen Erfassen von Objekt- und Referenzlichtbündeln und
25 einer Auswerteeinheit zur Auswertung der sich aus der Überlagerung der zeitlich variablen Objekt- und Referenzstrahlen ergebenden Signatur.
12. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Bündelerzeugungsmittel einen optischen Resonator, eine Lichtverstärkereinheit und einen
30 Modulator umfasst.

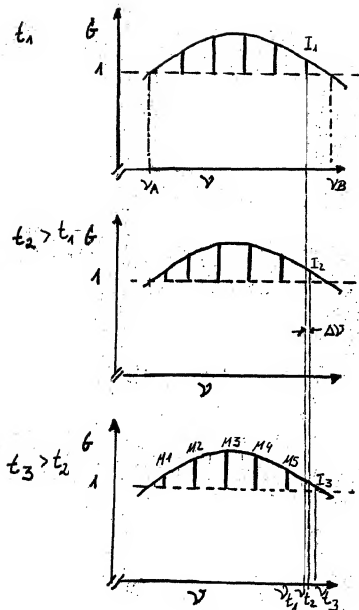
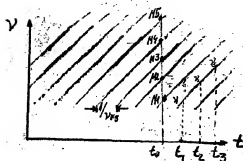
13. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Modulator ein akustooptischer Modulator ist.
- 5 14. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der akustooptische Modulator an einen Frequenzgenerator mit einer Frequenz zwischen 0,1 MHz und 500 MHz, insbesondere um 100 MHz angeschlossen ist.
- 10 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wahleinheit zur Auswahl auszu-lesender und/oder auszuwertender Lichtempfänger- Detektions-
onselemente vorgesehen ist.
- 15 16. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass ein bildgebendes Sensorfeld vorgesehen ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch
20 gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld von dem Lichtempfänger verschieden ist.
18. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld und der
25 Lichtempfänger unterschiedliche Spektralempfindlichkeiten aufweisen.
19. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das bildgebende Sensorfeld für die
30 Wellenlängen des Bündelerzeugungsmittels nicht empfindlich ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-19, dadurch gekennzeichnet, dass als Bündelerzeugungsmittel ein FSF-(Frequency-Shifted-Feedback-)Laser verwendet wird.

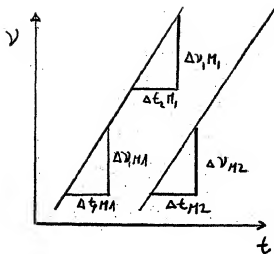
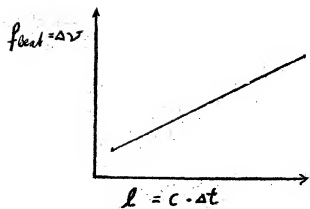
1 / 3



2 / 3

Fig. 2aFig. 2b

3 / 3

Fig. 2cFig. 2d